

# LPOB21 : Milieux magnétiques: diamagnétisme, paramagnétisme, ferromagnétisme

**Armel JOUAN**

**Niveau : L3**

**Prérequis**

- Electromagnétisme
- Ensemble canonique

## **1 Magnétisme induit**

### **1.1 Diamagnétisme [1] p.318**

- Hypothèses :
  - matériau à couches électroniques complètes  $J = L = S = 0$  : pas de moment magnétique permanent
  - $N \gg 1$  atomes/ions aux noeuds d'un réseau cristallin en contact avec un thermostat à la température  $T$
- Il faut considérer l'effet du champ magnétique sur tout l'atome/l'ion.
- Donner l'hamiltonien associé, et le simplifier en considérant que l'atome/ion reste dans son niveau électronique fondamental.
- En déduire l'énergie libre, l'aimantation et la susceptibilité. Donner des ODG pour quelques matériaux

### **1.2 Paramagnétisme de Brillouin [1],[2], LP45**

- Hypothèses
- Hamiltonien, fonction de partition, énergie libre, aimantation pour un atome
- Susceptibilité et loi de Curie

## 2 Magnétisme permanent : le ferromagnétisme [1], [2]

### 2.1 Phénoménologie

- Aimantation permanente (non nulle à champ nul)
- Courbe de première aimantation, cycle d'hystérésis
- Applications : entrefer (fer doux), transfo (fer dur)
- Transition para-ferro (vidéo/manip)

### 2.2 Modélisation microscopique

- Donner les grandes lignes : interaction électrostatique (couplage  $J > 0$ ) entre les moments magnétiques qui va expliquer leur arrangement les uns par rapport aux autres.
- Pour minimiser leur énergie d'interaction en  $-J \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$ , les spins vont s'orienter dans le même sens : apparition d'une aimantation globale, et ce même à champ constant.
- Montrer la courbe d'aimantation (2) obtenue avec le modèle d'Ising pour  $B = 0$ , et la transition para-ferro.
- Eventuellement parler de domaines de Weiss.

## Bibliographie : démonstrations et exemples

[1] Diu, **Physique statistique**, chap 3 :

- Complément A (Para et Dia)
- Complément J (ferromagnétisme)

[2] Texier, **Physique statistique**, Dunod.

- Transition para-ferro avec l'approximation de champ moyen bien explicité à partir de la p.219
- Paramagnétisme p.113
- Problème séparable et fonction de partition

[3] BFR EM 4, **Milieus matériels**, chap 7

- [4] **Trémolet, Magnétisme, I - Fondements, PUG.** Approche phénoménologique complète du magnétisme. Les approches théoriques sont développées avec les différentes formes de magnétisme.

## Manipulations, ressources

- (1) Manip introductive de mise en évidence des différents comportements de matériaux magnétiques (cf MP 16)
- (2) Animation Python résolution graphique de l'équation autocohérente
- (3) Vidéo transition para ferro :  
[https://www.canal-u.tv/video/tele2sciences/temperature\\_de\\_curie\\_du\\_fer.8992](https://www.canal-u.tv/video/tele2sciences/temperature_de_curie_du_fer.8992)
- (4) Simulation Python du modèle d'Ising.